

② 日本国特許庁 (JP) ① 特許出願公開
 ② 公開特許公報 (A) 平3-289310

③ Int. Cl.²
 H 02 G 1/06
 B 25 J 5/00
 13/00
 18/02
 G 06 D 1/02

識別記号 庁内整理番号
 Q 7161-5G
 E 8611-3F
 Z 8611-3F
 8611-3F
 F 7155-3H
 J 7155-3H

④公開 平成3年(1991)12月19日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全12頁)

⑤発明の名称 自走式監視ロボット

⑥特願 平2-86029
 ⑦出願 平2(1990)3月31日

⑧発明者 岩田和敏 神奈川県横浜市鶴見区末広町2-4 株式会社東芝京浜事業所内

⑨出願人 株式会社東芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

⑩代理人 弁理士 波多野久 外1名

明細書

(産業上の利用分野)

本発明は、洞道設備等の異常の有無を遠隔監視制御できる自走式監視ロボットに係り、特に、狭い河道などに設置された地中送電線の電力ケーブル等の異常の有無を遠隔監視により点検可能な自走式監視ロボットに関するもの。

(従来の技術)

狭い河道などに設置された地中送配電線の電力ケーブルの異常の有無を監視する監視ロボットとして、自走式の地中絶縁洞道監視ロボットが開発されており、この自走式監視ロボットで洞道内に配設された地中電力ケーブル等の洞道設備の異常の有無を遠隔監視できるようになっている。

しかしながら、従来の監視ロボットは、肉眼で発見できるようなケーブル表面の損傷しか観察しておらず、ケーブル内部の検査を行なうことは不可能であった。

一方、ケーブル内部検査には、ラジオグラフィやX線を用いた異常診断法が存在するが、この異常診断方法を放射線障害の発生をきらう地中電力

1. 発明の名称

自走式監視ロボット

2. 特許請求の範囲

自走式のロボット走行車体に、計測ヘッドを先端に備えた多自由度アームを設けるとともに、前記走行車体に遠隔送受信可能なロボット制御通信システムと各種計測手段を備する計測制御装置とを備え、前記計測ヘッドに被検査物の外観を観察する視覚センサ、非接触温度センサおよび被検査物の内部診断を行なう超音波センサ等の非電気的な非破壊検査用センサを設け、前記各種計測手段は各センサをそれぞれ動作させるドライバと各センサの計測データを処理するデータ処理システムとを備えたことを特徴とする自走式監視ロボット。

3. 発明の詳細な説明

(発明の目的)

ケーブルの内部検査に適用することは困難であり、また、ラジオグラフィやX線を用いた診断装置を、狭い洞道内を走行する自走式監視ロボットに搭載することはできなかった。

この点から、従来の自走式監視ロボットによるケーブルの検査は、作業員の目視による巡回点検検査に代わるもので、ケーブル外観検査だけを行なっているにすぎなかった。

(発明が解決しようとする課題)

従来の自走式監視ロボットは洞道設備である地中電力ケーブルの外観検査だけを行なっているものであり、ケーブル内部の診断を行なうことができなかった。また、この監視ロボットは、ケーブル外観検査だけを非電気的な非破壊検査として行なっており、この非破壊検査の範囲が狭いため、ケーブル外観以外の診断は、電気的な活塞診断とか、停電取得が困難なため実施が容易でない電気的非破壊試験による絶縁劣化診断に大きく依存しなければならなかった。

一方、現在ではコンピュータ機器の普及に伴い、

停電取得の困難さが増大しており、従来的にもコンピュータ機器、オンライン機器の普及・拡大に伴い、停電取得は益々困難になることが予想される。このため、自走式監視ロボットは、非電気的非破壊検査を充実させてその担当範囲を拡張し、実施が困難な電気的非破壊試験の範囲を少しでも延長させたり、その試験回数を減少させる必要があった。

本発明は上述した事情を考慮して地中電力ケーブル等の洞道設備の外観検査や温度計測、内部診断を非電気的な非破壊検査で行ない、洞道設備の異常の有無を遠隔監視制御できる自走式監視ロボットを提供することを目的とする。

本発明の他の目的は、非電気的な非破壊検査としての洞道設備の外観検査や温度計測、内部診断の他に放電位置検出と計測点位置測定を行なうことができる自走式監視ロボットを提供することにある。

(発明の構成)

(課題を解決するための手段)

本発明に係る自走式監視ロボットは、上述した課題を解決するために、自走式のロボット走行車体に、計測ヘッドを先端に備えた多自由度アームを設けるとともに、前記走行車体に遮隔送受信可能なロボット側通信システムと各種計測手段を管理する計測制御装置とを備え、前記計測ヘッドに被検査物の外観を観察する視覚センサ、非接触温度センサおよび被検査物の内部診断を行なう超音波センサ等の非電気的な非破壊検査用センサを設け、前記各種計測手段は各センサをそれぞれ動作させるドライバと各センサの計測データを処理するデータ処理システムとを備えたものである。

(作用)

この自走式監視ロボットは狭い洞道内を自力走行して地中電力ケーブル等の洞道設備を被検査物として、被検査物の外観検査だけでなく、被検査物の表面温度や内部診断を非電気的な非破壊検査で効率よく行なうことができ、しかも、被検査物としての洞道設備の異常の有無を遠隔制御により監視できるので、実施が困難な電気的非破壊試験

の間隔をあげたり、その試験回数を大幅に減少させることができる。

また、この自走式監視ロボットは非電気的な非破壊検査である洞道設備の外観検査や温度計測、内部診断の他に、計測点の位置測定を行なったり、コロナ放電位置を検出してコロナ発生源調査をすることができる、洞道設備の非破壊検査を多機能化して充実させることができる。

さらに、自走式監視ロボットは多自由度アームの先端に備えられた計測ヘッドに視覚センサや非接触温度センサ、超音波センサ等の非破壊検査用センサを備え、これらの各センサで洞道設備を計測する一方、この計測データは処理され、半永久的な位置標識と関係づけて位置決め保存してデータベース化できるので、長期間の繰り返し使用を行ない得る一方、各種センサからの検査結果はオンラインでリアルタイムに遠隔監視でき、監視精度を大幅に向上させることができる。

(実施例)

以下、本発明に係る自走式監視ロボットの一

実施例について添付図面を参照して説明する。

第1図および第2図は本発明に係る自走式監視ロボットの一例を示すものであり、この自走式監視ロボットは、地下等の洞道内に敷設された地中送配電線の電力ケーブル等を非電気的な非破壊検査で遠隔地から監視することができるロボットである。この監視ロボットは洞道内部を蓄電池等でモータ駆動させて自力走行せるものであるが、この種の自走式監視ロボットとしては、監視区域内の急坂や階級の有無など洞道床面の状況によってモノレール形とか、4輪車形などが選択される。第1図および第2図は4輪自走式の監視ロボットを選択した例を示す。

地下等に掘削される洞道1内には、地中送配電線としての電力ケーブル2の他に、上下水道管3、ガス管4および通信ケーブル5などの洞道設備が適宜敷設され、共同使用可能になったものがある。この洞道1の床面上を自走式監視ロボット7が自力で走行せしめられる。この監視ロボット7を洞道1内でスムーズに走行させるため、洞

道1内にはロボット走行の手掛りとなる位置標識8が、計測し易い位置に任意の間隔を置いて複数設けられる。

一方、自走式監視ロボット7は、ロボット走行車体1-0に、例えば9つの自由度を有する多自由度アーム1-1が設けられ、このアーム1-1の先端に計測ヘッド1-2が取付けられる。ロボット走行車体1-0は図示しないモータ駆動の車輪1-3により走行せしめられる。計測ヘッド1-2は、第8図に示すように、視覚センサとして例えばCCDカラーカメラ1-5、座接触温度センサとして例えば熱電型赤外線センサ1-6、電力ケーブル2等の内部診断センサとして例えば超音波センサ1-7が設けられるとともに、CCDカラーカメラ1-5の視野を明るくするために、このカメラ1-5に隣接して光ファイバ1-8が配設される。

自走式監視ロボット7の上部、好みしくは頂部には、広い周波数帯域にわたって指向性のあるアンテナとして例えばループアンテナ1-9が設けられる。このループアンテナ1-9は、上下方向の界

障運動と、例えば360度回転可能な旋回運動と、鉛直方向に対し斜め上方（交差角例えば30度）から斜め下方（交差角例えば60度）に亘って俯仰自在な俯仰運動とができるようになってる。

また、自走式監視ロボット7にはそのロボット走行車体1-0の上部に光センサ2-0と空中超音波センサ2-1が互いに隣接して、例えば360度旋回自在かつ鉛直線から左右に例えば90度の範囲に亘って俯仰自在に設けられる。また、半導体レーザ等のレーザ装置から発振されるレーザ光は光センサ2-0から出射され、洞道1内の天井等に振り分けられた位置標識8に向って照射される。位置標識8は、第4図に示すように、中心に反射率の大きな半球状反射面2-2を備えており、位置標識8からの反射レーザ光は光センサ2-0に入力して、監視ロボット7の位置検出を光学的に行なうようになっている。半球状反射面2-2の外周側はレーザ光の小反射領域2-3、その外周側はレーザ光の中間反射域2-4とされている。位置標識8は例えば洞道1内の天井などに任意の間隔で設置さ

れでいるので、監視ロボット7が位置標識8を手掛りに走行すれば、必要な巡回点検ができるようになっている。

自走式監視ロボット7の進行方向に向って例えば右側面には温度計2-5と湿度計2-6とが取付けられ、洞道1内の温度および湿度を測定する一方、監視ロボット7の内部にロボット制通信システムの通信用アンテナとしてアレーランテナ2-7が配設されている。アレーランテナ2-7は洞道1内に敷設された柔軟同軸ケーブル2-8との間で相互に送受信されるようになっている。

次に、自走式監視ロボット7の計測・点検動作に関する構成要素間の信号処理関係を、第5図の回路ブロック図を参照して説明する。

自走式監視ロボット7にはインターフェイスとメモリを備えたマイクロプロセッサシステムからなる通信装置3-0が搭載され、この通信装置3-0は指向性アンテナとしてのアレーランテナ2-7と組み合されてロボット制通信システム2-9を構成している。上記通信装置2-9は計測制御装置3-1

に双方通信可能に接続される。

計測制御装置 3-1 は、インターフェイスとメモリを備えたマイクロプロセッサシステムで構成される一方、この計測制御装置 3-1 は、視覚系計測手段 3-2、温度系計測手段 3-3、内部診断系計測手段 3-4、コロナ放電位置計測手段 3-5 やび位置検出手段 3-6 を管理可能に接続され、各種計測手段 3-2～3-6 の各ドライバ 3-2-a～3-6-a に計測命令を出力し、各ドライバ 3-2-a～3-6-a の駆動を制御している。

各ドライバ 3-2-a～3-6-a のうち、視覚系ドライバ 3-2 是画像処理システム 4-2 に、温度系ドライバ 3-3-a 是温度データ処理システム 4-3 に、内部診断系ドライバ 3-4-a 是内部診断処理システム 4-4 に、アンテナ系ドライバ 3-5-a 是コロナデータ処理システム 4-5 に、また、位置計測ドライバ 3-6-a 是位置データ処理システム 4-6 にそれぞれ接続される。各処理システム 4-2～4-6 はインターフェイスとメモリを備えた C P U 等のマイクロプロセッサシステムから構成されている。

ドライバ 3-4 是、超音波センサ 1-7 および内部診断処理システム 4-4 を動作するようになっており、超音波センサ 1-7 是、地中電力ケーブル 2 等の表面に密着して、超音波検断を行なっている。超音波センサ 1-7 での超音波による計測情報（出力）は内部診断処理システム 4-4 に出力され、この処理システム 4-4 で電力ケーブル 2 等の表面から超音波反射層までの距離演算を行なっている。この演算処理結果は内部診断処理システム 4-4 からロボット側通信装置 3-6 および計測制御装置 3-1 にそれぞれ出力される。

他方、コロナ放電位置計測手段 3-5 のアンテナ系ドライバ 3-5-a 是指向性アンテナとしてのループアンテナ 1-9 およびコロナデータ処理システム 4-5 を動作させるようになっており、ループアンテナ 1-9 でコロナパルスによる放射境界の計測を行ない、コロナ発生源調査を行なっている。ループアンテナ 1-9 がキャッチしたコロナパルスによる放射境界は、コロナデータ処理システム 4-5 でデータ処理され、この処理結果がロボット側通信

装置 3-0 および計測制御装置 3-1 に出力されるようになっている。

一方、視覚系計測手段 3-2 の視覚系ドライバ 3-2-a はカラー視覚センサとしての C C D カラーカメラ 1-6、光ファイバ 1-8 および画像処理システム 4-2 をそれぞれ動作させるように接続される。C C D カラーカメラ 1-6 で得られる画像信号（N T S C 信号）は画像処理システム 4-2 に出力され、ここでデジタル画像信号に変換される。このデジタル画像信号と調査結果がロボット側通信装置 3-0 に出力される一方、前記調査結果は計測制御装置 3-1 にも歯力するようになっている。

また、温度系計測手段 3-3 の温度系ドライバ 3-3-a 是非接触温度センサとしての集電型赤外線センサ 1-6 および温度データ処理システム 4-3 を駆動するようになっており、この赤外線センサ 1-6 で室温付近の遠赤外線を計測している。赤外線センサ 1-6 の計測値は温度データ処理システム 4-3 に出力され、ここで演算処理され、その処理データがロボット側通信装置 3-0 および計測制御装置 3-1 へ出力するようになっている。

さらに、内部診断系計測手段 3-4 の内部診断系

装置 3-0 および計測制御装置 3-1 に出力されるようになっている。

また、洞道 1 内における自走式監視ロボット 7 の位置は位置計測手段である位置検出手段 3-6 で計測している。この位置検出手段 3-6 是、自走式監視ロボット 7 から洞道 1 内の位置標識 8 までの距離測定を行なう距離測定手段 5-1 と自走式監視ロボット 7 の走行量を検出する走行量検出手段 5-2 を有する。

距離測定手段 5-1 是、位置計測ドライバ 3-6-a とこのドライバ 3-6-a からの出力で動作される光センサ 2-0、空中超音波センサ 2-1 および位置データ処理システム 4-6 を備え、光センサ 2-0 および空中超音波センサ 2-1 で計測された自走式監視ロボット 7 と位置標識 8 との距離データが位置データ処理システム 4-6 に入力され、この処理システム 4-6 で演算処理される。

一方、走行量（走行位置）検出手段 5-2 是自走式監視ロボット 7 の車輪に連結されたパルスジェネレータ 5-3 を有し、このパルスジェネレータ 5-3

3で発生したパルス信号はパルスカウンタ54でカウントされて位置データ処理システム46に入力され、ここで演算処理される。

位置検出手段36は、距離測定手段51および走行量検出手段52の位置データ処理システム46により、監視ロボット7の現在位置が3次元的に検出され、その検出結果がロボット側通信装置30および計測制御装置31にそれぞれ出力される。

また、洞道1内の温度と湿度は、温度計25および湿度計26でそれぞれ検出され、検出された計測値のデジタル量がロボット側通信装置30および計測制御装置31にそれぞれ出力される。

ところで、ロボット側通信システム29の通信装置30は、アーレアンテナ27および計測制御装置31と送受信可能に接続され、双方の情報伝達ができるようになっている。

このアーレアンテナ27と送受信される漏れ同軸ケーブル28は通路に配置されたホスト側通信装置55と共にホスト側通信システム56を構成

している。また、ホスト側通信装置55はホストコンピュータ57との間で双方の情報伝達可能（送受信可能）に接続され、このホストコンピュータ57は入出力端末58との間で双方の情報伝達可能に接続されている。

次に、自走式監視ロボット7の作用を説明する。

初めに、自走式監視ロボット7の位置計測作業について説明する。

洞道1内には第2図に示すように地中電力ケーブル2の他、上下水道管3、ガス管4および通信ケーブル5等が配設され、また、洞道1の例えれば天井には自走式監視ロボット7の走行手掛りとなる位置標識8が任意の間隔で設けられる。位置標識8は、洞道1内の始点 P_j の3次元座標を $(0, 0, 0)$ とし、終点 P_k の3次元座標を (x_k, y_k, z_k) として設定し、これらの位置に位置標識8をそれぞれ設けるだけでなく、これらの中間の複数地点 P_i にも位置標識8を設け、その3次元座標 (x_i, y_i, z_i) を予め計測して明らかにしておく。さらに、位置標識8の設

置位置が洞道床面の通路中心線CLを天井に投影した位置からの距離と方向を $(\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j)$ として明らかにしておく。ただし、始点 P_j に対し終点 P_k の方向を3次元の正方向とし、 $\Delta x_j, \Delta y_j, \Delta z_j$ に正負の符号を付して方向を表す。

各位置標識8は第4図の平面図で示すように、中心に半球状反射鏡22が形成され、この反射面22は光センサ20から出力されるレーザ光しがどの方向にも一様に反射されるように反射率の大きな反射鏡となっており、その外周にレーザ光の反射率がさわめて小さな区域（小反射領域）23を、最外周に半球状反射鏡22と小反射領域23との反射率の平均値近くの反射率を有する区域（中間反射域）24を設ける。

しかして、自走式監視ロボット7の現在走行位置 $\alpha_j = (a_j, b_j, c_j)$ を求めるために、前方の位置標識 $P_j = (x_j, y_j, z_j)$ を計測し、この間の距離と方向を測定する。前方の位置標識 $P_j = (x_j, y_j, z_j)$ を明らかにするため、

第5図の人出力端末58を操作し、ホストコンピュータ57から、ホスト側通信システム56の通信装置55および漏れ同軸ケーブル28、アーレアンテナ27、ロボット側通信装置30を介して計測制御装置31に位置計測指令を付与する。

計測制御装置31は、この指令を受け、位置計測指令信号を位置検出手段36の位置計測ドライバ36aに出力し、この計測ドライバ36aを駆動させる。位置計測ドライバ36aは位置計測指令を受け取ると、位置データ処理システム46に予想仰角 θ_{ij} を第6図に示すように推定させる。

一方、位置データ処理システム46は、自走式監視ロボット7が前回の監視作業で位置 $\alpha_{j-1} = (a_{j-1}, b_{j-1}, c_{j-1})$ から前方の位置標識8の座標値 P_j を計測した距離 $Q_{j-1} P_j = S_{j-1}$ と仰角 Q_{j-1} をメモリから取り出す一方、位置 Q_{j-1} を基準としてパルスジェネレータ53から発生するパルスをパルスカウンタ54でカウントし、このカウント値から $Q_{j-1} Q$ 間の走行距離 x_j を求める。 $Q_{j-1} Q$ 間で、通路中心線CL

が x 軸に平行である場合、 $a_{j+1} = a_{j-1} + g_j$ 、 $d_{j+1} = d_{j-1} - g_j$ が求められる。

ところで、自走式監視ロボット 7 の走行は、前方の位置標識 8 の座標値 P_j (x_j , y_j , z_j) とのずれ量 (Δx_j , Δy_j , Δz_j) から走行目標を定めて走行しているが、実際の自走式監視ロボット 7 の走行は多少シグザグに迷ったり、車軸 1, 3 の摩耗により回転数と走行距離との関係が変化している場合がある。このため、計算により求めた x 座標値 a_{j+1} が実際値 a_j と一致しない場合が生じる。

洞道 1 の天井が第 6 図に示すように一定 ($z_{j-1} = z_j$) であり、自走式監視ロボット 7 の光センサ 20 から天井面までの高さが且であるとすると、

$$\theta_{j+1} = \tan^{-1} \frac{d_{j+1}}{h} \quad \dots (1)$$

で表わされ、 θ_{j+1} の計算を行なうことができる。

このため、x 座標値が a_{j+1} と a_j との間で不一致があると、角 θ_{j+1} を使って現在位置 Q_j から位

置標識 P_j を見るので、レーザ光線の到達点に変位を生じさせ、位置標識 P_j ではなく第 3 圖の中間反射域 24 を照らす。これは光センサ 20 のフォトトランジスタが半球状反射面 22 からの反射量とは、入射角や反射率の違いではっきり識別できるので、中間反射域 24 からの反射であると判別できる。ここで少し仰角 θ_{j+1} を変えたり、光センサ 20 を僅かに左右に振ってみて、中間反射域 24 から小反射領域 23 の方向を見付け、最終的には半球状反射面 22 に辿り付く、仰角 θ_j が求められる。

もし、仰角 θ_{j+1} と θ_j の差が大きい場合には、まず幅の広い中間反射域 24 を探すことから始める。この作業は、温度センサ 25 で計測した室温 t_p (°C) が計測制御装置 31 から位置計測ドライバ 36 a を経由して位置データ処理システム 46 に伝えられ、この処理システム 46 で速度 v_p (m/s) における速度 $V_p = 331.7 + 0.6 t_p$ (m/s) が計算される。また、自走式監視ロボット 7 には音響整合器を取り付けて 0.1

~ 1 MHz の超音波を空中に送波できるようにした空中超音波センサ 21 が備えられており、このセンサ 21 は角 θ_j の仰角で位置 P_j の位置標識 8 を目がけて超音波を送波し、送波から受波までの所要時間 T_j (s) を計測して位置データ処理システム 46 に伝える。

位置データ処理システム 46 では空中超音波センサ 21 の受波素子からセンサ中心までの補正距離 δ_j を加えて Q_j , P_j 間の距離 s_j

$$s_j = \frac{V_p \cdot T_j}{2} + \delta_j \quad \dots (2)$$

を求める、この距離 s_j から水平距離 d_j

$$d_j = s_j \cdot \cos \theta_j \quad \dots (3)$$

を求める。

全く同様にして、後方の位置標識 8 の位置 P_{j-1} と Q_j の間の線分 $P_{j-1}Q_j$ が作る仰角 θ_j と距離 d_j 、および水平距離 $e_j = \sqrt{d_j^2 - \theta_j^2}$ がそれぞれ求められる。さらに、座標値の差 $x_j - x_{j-1}$ と距離の和 $s_j + e_j$ が等しければ中心線 C し上にあることがわかり、 $x_j - s_{j-1}$

$< d_j + e_j$ ならば中心線 C しから外れた位置に自走式監視ロボット 7 があることがわかる。

位置検出手段 36 により位置計測結果は、ロボット側通信装置 30 と計測制御装置 31 に送られる。ロボット側通信装置 30 は監視ロボット 7 の位置計測結果をアーティクル 27 から漏れ回転ケーブル 28、ホスト側通信装置 55 を介してホストコンピュータ 57 にインプットする一方、計測制御装置 31 は前記位置計測結果を各種ドライバ 32 ~ 35 を経由して各種処理システム 42 ~ 45 に届けられ、並行的に進められる監視データの識別と記録に使われたり、さらに過去の監視データを検索し、比較するために使われる。すなわち、現在位置の座標 Q_j (a_j , b_j , c_j) は監視データの識別や記録ばかりでなく、過去の監視データの検索のためにも使われる。

次に、ロボット位置計測作業と同時に進められる監視作業について説明する。

初めに、被監視対象である地中電力ケーブル 2 の視覚系による外観検査を説明する。

計測制御装置31から外観検査指令を視覚系ドライバ32aに出力し、このドライバ32aが外観検査指令信号を受取ると、画像処理システム42から監視対象面の明細情報を受取り、図示しないアクチュエータを作動させて光ファイバ18の方向調節を行ない、光ファイバ18から電力ケーブル2の監視対象面に光を照射させる。このときには、視覚系ドライバ42aがCCDカラーカメラ15を動作させて受光面の状態を検出する。具体的には、受光面の状態をCCDカラーカメラ15の感光部に全画素が同一時点、同一期間の光学像を作り、この光学像を光電変換して信号電荷として蓄積したNTSC信号に組み立てて画像処理システム42に当てる。

画像処理システム42では、アナログ形の映像信号をデジタル画像信号に変換して電力ケーブル2の亀裂や変色の有無を調査し、この調査結果と計測制御装置31から視覚系ドライバ32を通して受取った位置情報Q₁からアーム11の先端までの距離情報を付加した計測点M₁(x₁、

y₁、z₁)の情報と共にディジタル画像信号は通信装置30へ出力される。また、画像処理システム42の前記調査結果は位置情報(計測点位置座標)M₁(x₁、y₁、z₁)と共に計測制御装置31へも出力され、報告される。

続いて、同じ位置M₁(x₁、y₁、z₁)の調査を行なうため、計測制御装置31から温度計測指令を受けた温度系ドライバ33aが、熱電型赤外線センサ16を動作させて非接触に遠赤外線を一定時間内に入射させる。これにより周囲された遠赤外線量を電圧に変換して温度計測し、この計測値が温度データ処理システム43へ送られてディジタル量に変換される。温度データ処理システム43内では予め設定された範囲内の温度か否か、また、必要ならば計測制御装置31、通信装置30などを経由してホストコンピュータ57から過去の温度データを取寄せて、過去のデータとの差から異常の有無が調査される。これらの調査結果が計測点M₁の位置情報と共にロボット側通信装置30と計測制御装置31に出力される。

次に、電力ケーブル2はCCDカラーカメラ15や赤外線センサ16で異常が発見された場合、例えば計測点M₁を内部診断するため、計測制御装置31から内部診断系ドライバ34に内部診断指令が当たると、内部診断系ドライバ34は超音波センサ17を第7図のA位置の場合のように電力ケーブル2の表面の法線方向に向けて密着させて、超音波センサ17を動作させる。第7図は電力ケーブル2が单芯の例を示す。例えば電力ケーブル2が单芯の架橋ポリエチレン絶縁ビニールシース電力ケーブルの場合、最外周部60はビニールシース、その内周側に、テーブ61、遮蔽テープ62、半導電層63、架橋ポリエチレン絶縁体64、半導電層65の順に巻かれ、中心に導体66が位置する構成となっている。

超音波センサ17は、発振される超音波の周波数が0.5~2.0MHz付近の範囲の中で、被監視対象に適した周波数が選択される。超音波センサ17から鋭い音圧分布を有する細径の超音波パルスが送波され、送波された超音波パルスの中で

速度が速く減衰が少ない繊維が最外周のビニールシース60とテーブ61の間、テーブ61と遮蔽テープ62の間、遮蔽テープ62と半導電層63の間、半導電層63と架橋ポリエチレン絶縁体64の間、架橋体64と半導電層65の間、半導電層65と導体66との間などの境界層から第8図のように反射されて超音波センサ17に到達するまでの受波時間を計測する。

第8図は横軸に超音波の送波から受波までの経過時間t(ms)、縦軸に超音波の受波時レベルp(dB値)の一例を表示したものである。実際には、速度が速く減衰の大きい構造も反射される証であるが、予め超音波の反射の状況を調べておいて、不要の構造の除去するのが好ましい。超音波センサ17で計測した時間tは内部診断処理システム44へ送って、電力ケーブル2の表面から反射層までの距離を計算する。

また、内部診断処理システム44が保管する過去に計測したデータと比較して、従来からあった反射層の距離変化や反射層の消失、新しい反射層

の出現などから電力ケーブル2の異常の有無を調査できる。また、第7図のB位置に示すように計測ヘッド1・2をセットし、電力ケーブル2の表面で法線方向から約20°傾けて、破線の方向に超音波を送波しても計測することもできる。電力ケーブル2の構成物の超音波反射波の速度はそれぞれ違っているが予め計測されているので、受波までの所要時間から距離を求めることができる。このようにして調査した結果は位置M_jと法線に対する角度の情報と共にロボット側通信装置3・0と計測制御装置3・1へ送られる。

ところで、視覚系計測手段3・2、温度系計測手段3・3および内部診断系計測手段3・4による一連の計測診断活動とは別に、計測制御装置3・1からのコロナ計測指令をコロナ放電位置計測手段3・5のアンテナ系ドライバ3・5・aが受取ると、指向性アンテナ、例えば第1図のループアンテナ1・9を旋回・傾斜させて、計測できる全方向についてコロナパルスによる放射磁界の受信を行ない、この磁界強度をコロナデータ処理システム4・5に送

って磁界の存在を検出している。このコロナパルスによる放射磁界の測定により、コロナ発生源調査を行なうことができる。

コロナデータ処理システム4・5が磁界の存在を感じると、周波数0～200MHz範囲の磁界強度分布(dB値)に分析し、光センサ2・0とループアンテナ1・9の間の距離を光センサ2・0の位置Q_j(a_j, b_j, c_j)に加えたループアンテナ1・9の位置情報A(a_j, b_j, c_j)と、ループアンテナ1・9の方角情報(θ_j, φ_j)と共に、コロナデータ処理システム4・5内のメモリにストックする。同時に、コロナデータ処理システム4・5から磁界強度分布と位置情報A(a_j, b_j, c_j)、方角情報(θ_j, φ_j)はロボット側通信装置3・0と計測制御装置3・1に送られる。ここで、方角情報(θ_j, φ_j)のθ_jはループアンテナ1・9の水平方向回角、φ_jは縦直線に対する傾斜角である。一度コロナ放電位置計測手段3・5でコロナパルス磁界が検出されると、最大値を持つ磁界強度分布の位置情報と方角情報から、

コロナ発生場所をコロナデータ処理システム4・5で明らかにすることができます。

また、通信装置3・0へ送られた全ての情報は通常用信号に変換されて、アレーランテナ2・7から漏れ同軸ケーブル2・8に送られる。アレーランテナ2・7は、漏れ同軸ケーブル2・8の放射指向特性に合わせた指向性を持ち電子的に制御できるようになっている。漏れ同軸ケーブル2・8で受信した信号はホスト側通信装置5・5でホストコンピュータ5・7が取扱える信号に変換されてからホストコンピュータ5・7に入力され、このホストコンピュータ5・7から入出力端末5・8へ出力して監視室に居る監視人に報告される。通信には、例えば400MHz帯、800MHz帯などの周波数が使われる。さらに、計測制御装置3・1に報告された調査結果、異常部の画像データはホストコンピュータ5・7のメモリに蓄積される。

逆に、監視人が入出力端末5・8へ入力した操作指令はホストコンピュータ5・7によりホスト側通信装置5・5を通して漏れ同軸ケーブル2・8から送

信し、これを受信したアレーランテナ2・7ではロボット側通信装置3・0を介して計測制御装置3・1へ伝えられ、計測制御装置3・1は任意のドライバ3・2～3・6に指令を出して実行させる。

これらの動作を行なうプログラムの關係を第9図に示す。アーム1・1の動作を含め自走式監視ロボット7の行動の中心となる計測制御管理プログラム7・0と自走式監視ロボット7の走行を制御する走行関係プログラム7・1を計測制御装置3・1が内蔵し、通信関係プログラム7・2をロボット側通信装置3・0が内蔵している。また、位置データ処理システム4・6は位置計測プログラム7・3を、コロナデータ処理システム4・5はコロナ計測プログラム7・4を、画像処理システム4・2は視覚系処理プログラム7・5を、温度データ処理システム4・3が温度計測プログラム7・6を、また内部診断処理システム4・4は内部診断プログラム7・7をそれぞれ内蔵している。そして、視覚系手段、温度計測系手段および内部診断系手段の各プログラム群7・5、7・6、7・7と、もう1つのプログラム群7

0, 71および他のプログラム群72, 73, 74は計測制御管理プログラム70を通してのみ接続された形で互いに切離され、分散されているので、プログラム70を通してそれぞれが独立した動作をする。したがって、それぞれの動作の関係付けは計測制御管理プログラム70が行なう。

この自走式監視ロボット7は、視覚センサとして例えばCCDカラーカメラ15により被検査対象の外観検査を行ない、非接触温度センサとして例えば無電型赤外線センサ16により被検査対象の表面温度測定を行ない、内部診断センサとして例えば超音波センサ17で電力ケーブル2等の被検査対象の内部診断を行ない、指向性アンテナとして、例えばループアンテナ19でコロナパルス発生源調査を行なっているから、従来の外観異常有無だけでなく、高温部分の発見、電力ケーブル2等の内部構造や遮蔽編テープ62の切断など内部異常有無の発見、さらには、コロナ放電の有無やコロナ放電している場合はその場所の探知ができる。また、適当に設置した位置標識8と關係付

けて計測点の座標決定をしているから既往の内部注意点などを探すのが容易であり、データベース化して蓄積し、過去の経過を問合せて現状と比較し判断することができる。自走式監視ロボット7はこのように多機能な自動監視ができる上に、狭い洞道1で渡れるようにコンパクトである。

なお、本発明の自走式監視ロボットの一実施例では4輪自走式の監視ロボットを例にとったが、モノレール形の自走式監視ロボットであってもよい。

また、自走式監視のボットを用いたロボット監視システムを監視室内に設置し、各監視システム毎に入出力端末で音色の異なるブザー音を発するようにセットしておけば、特定の監視システムの異常時に、対応するホストコンピュータが所要の粉末ブザーを鳴らすようにセットし、各ロボット監視システムに識別番号または番号を付して警報報告や異常報告を行なうようにすれば、監視人が一人で複数のロボット監視システムを監視することができ、監視業務の多機能化、自動化

の他に、省力化を図ることができる。

(発明の効果)

以上に述べたように本発明に係る自走式監視ロボットは洞道内を自力走行して地中電力ケーブル等の洞道設備を被検査物として、被検査物の外観検査だけでなく、被検査物の表面温度や内部診断を非電気的な非破壊検査で効率よく行なうことができ、しかも、被検査物としての洞道設備の異常の有無を遠隔制御により監視できるので、実施が困難な電気的非破壊試験の間隔をあけたり、その試験回数を大幅に減少させることができる。

また、この自走式監視ロボットは非電気的な非破壊検査である洞道設備の外観検査や温度計測、内部診断の他に、計測点の位置測定を行なったり、コロナ放電位置を検出してコロナ発生源調査をすることができ、洞道設備の非破壊検査を多機能化して充実させることができる。

さらに、自走式監視ロボットは多自由度アームの先端に備えられた計測ヘッドに視覚センサや非接触温度センサ、超音波センサ等の非破壊検査用

センサを備え、これらの各センサで洞道設備を計測する一方、この計測データは処理され、半永久的な位置標識と関係づけて位置決め保存してデータベース化できるので、長期間の繰り返し使用を行ない得る一方、各種センサからの検査結果はオンラインでリアルタイムに遠隔監視でき、監視精度を大幅に向上させることができる。

4. 図面の簡単な説明

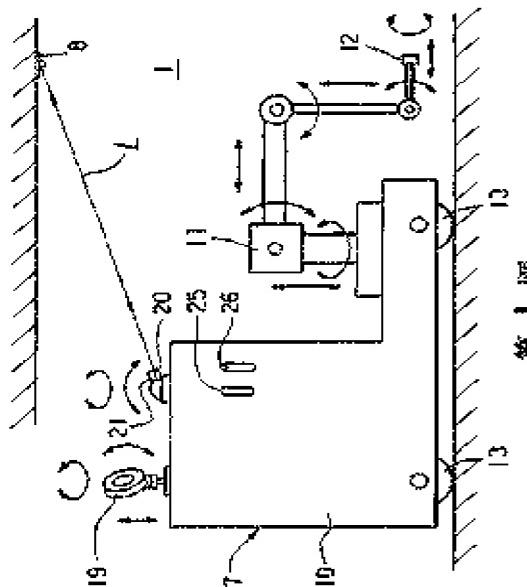
第1図は本発明に係る自走式監視ロボットの一実施例を示す剖面図、第2図は第1図に示された自走式監視ロボットが走行される共同使用洞道内の洞道設備を簡略的に示す断面図、第3図は上記監視ロボットに備えられる計測ヘッドの拡大図、第4図は洞道内に設置される位置標識の平面図、第5図は本発明の自走式監視ロボットのシステム構成要素間の信号伝達関係を示すブロック図、第6図は自走式監視ロボットの位置標識との関係で算出する説明図、第7図は洞道内に配設される地中電力ケーブルの一例を示す单芯電力ケーブルの

説明図、第8図は単芯電力ケーブルの超音波計測例を示す説明図、第9図は自走式監視ロボットのロボット側システム内に備えられるプログラムのブロック図である。

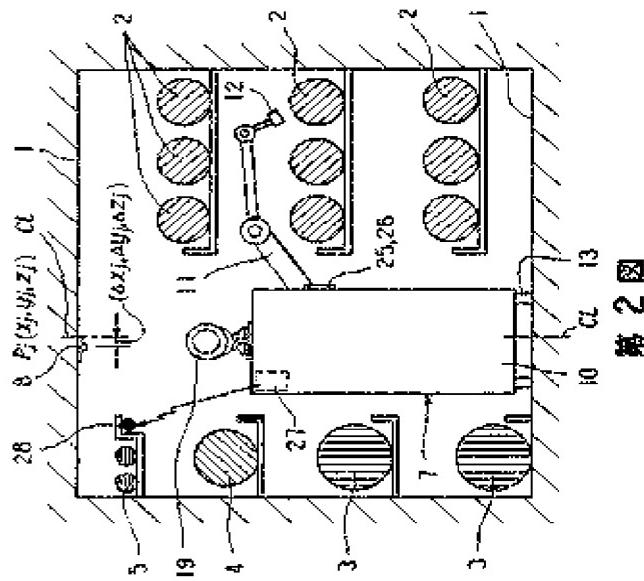
1…溝道、2…電力ケーブル、3…上下水道管、4…ガス管、5…通信ケーブル、7…自走式監視ロボット、8…位置標識、10…ロボット走行本体、11…多自由度アーム、12…計測ヘッド、15…CCDカラーカメラ（視覚センサ）、16…熱電型赤外線センサ（非接触温度センサ）、17…超音波センサ（内部診断センサ）、18…光ファイバ、19…ループアンテナ（指向性アンテナ）、20…光センサ、21…空中超音波センサ、22…半球状反射面、23…小反射領域、24…中間反射域、25…温度計、26…湿度計、27…アレーランテナ（通信用アンテナ）、28…編れ同軸ケーブル、29…ロボット側通信システム、30…ロボット側通信装置、31…計測制御装置、32…視覚系計測手段、32a…視覚計測ドライバ、33…温度系計測手段、33a…温度

系ドライバ、34…内部診断系計測手段、34a…内部診断系ドライバ、35…コロナ放電位置計測手段、35a…アンテナ系ドライバ、36…位置検出手段（位置計測手段）、36a…位置計測ドライバ、42…画像処理システム、43…温度データ処理システム、44…内部診断処理システム、45…コロナデータ処理システム、46…位置データ処理システム、51…距離測定手段、52…走行量検出手段、53…パルスジェネレータ、54…パルスカウンタ、55…ホスト側通信装置、56…ホスト側通信システム、57…ホストコンピュータ。

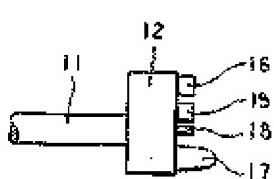
出願人代理人 波多野久



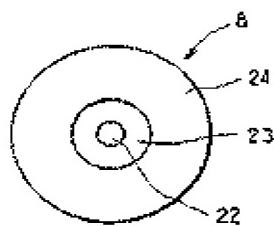
第1図



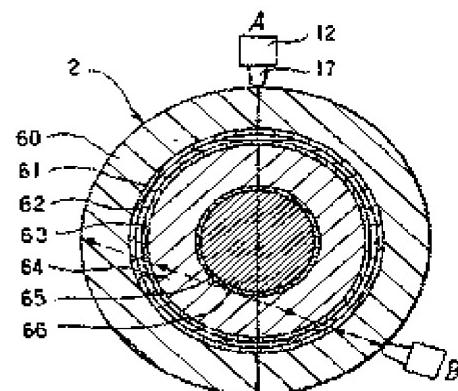
第2図



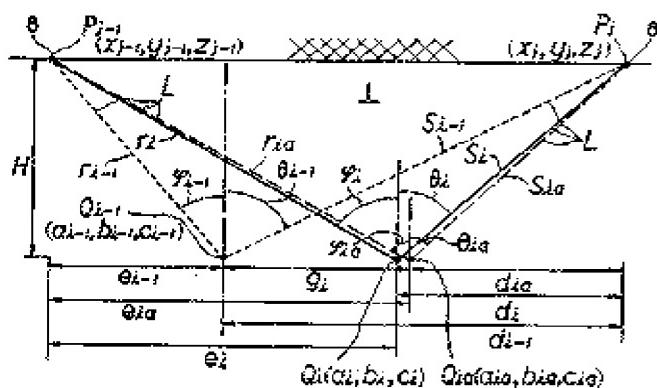
第3図



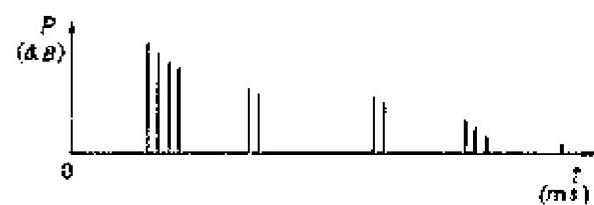
第4図



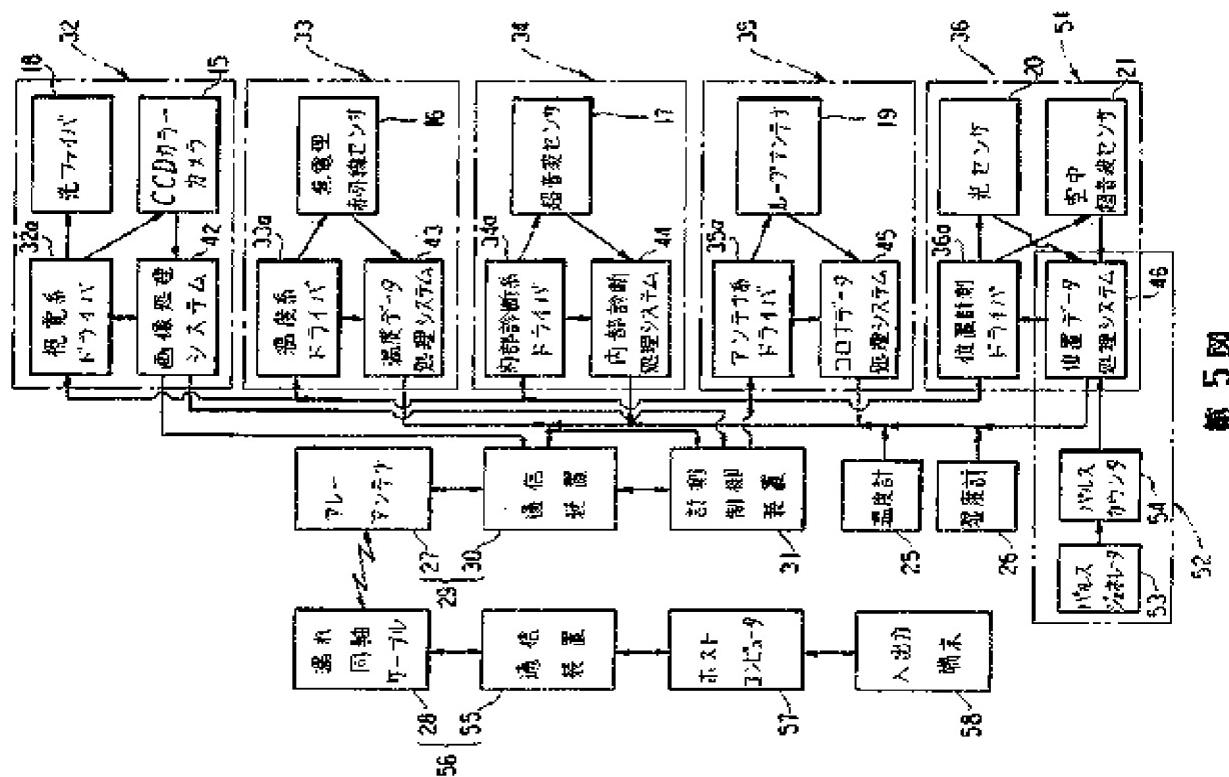
第7図



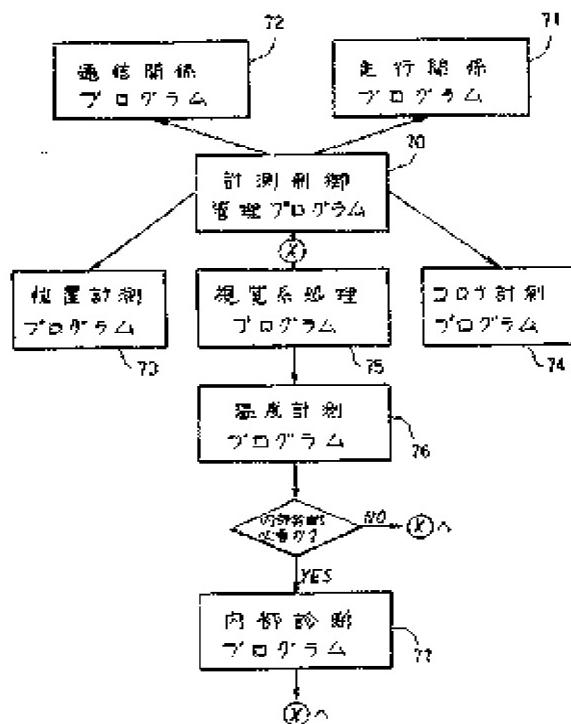
第6図



第8図



第5図



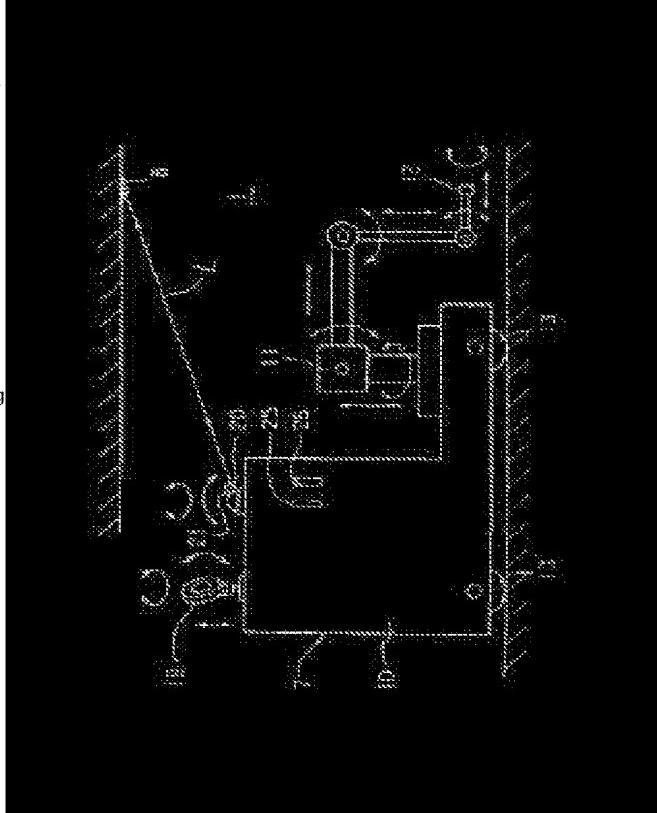
第9図

**Espacenet****Bibliographic data: JP 3289310 (A)****SELF-RUNNING TYPE MONITORING ROBOT**

Publication date: 1991-12-19
Inventor(s): IWATA KAZUTOSHI +
Applicant(s): TOSHIBA CORP +
Classification:
- international: *B25J13/00; B25J19/02; B25J5/00; G05D1/02; H02G1/06;* (IPC1-7): B25J13/00; B25J19/02; B25J5/00; G05D1/02; H02G1/06
- European:
Application number: JP19900086029 19900331
Priority number (s): JP19900086029 19900331

Abstract of JP 3289310 (A)

PURPOSE: To improve the monitoring accuracy of a self-running type monitoring robot by providing a multi-degree-of-freedom arm, to the leading end of which a measuring head equipped with various kinds of sensors is attached, to the robot and incorporating a data processor which processes data obtained by measurement in the robot.
CONSTITUTION: A multi-degree-of-freedom arm 11 is provided to this self-running type monitoring robot which runs on the floor of a tunnel road 1 and a measuring head 12 is fitted to the leading edge of the arm 11. The head 12 is equipped with a CCD camera, pyroelectric infrared sensor, ultrasonic sensor, optical fiber cables for lighting, etc. On the top of the robot 7, a loop antenna 19 for detecting corona discharge and optical sensor 20 for detecting position are mounted. Data obtained by measurement are processed by a data processing system incorporated in the robot 7 and transmitted to a host side through a communication system.



Last updated:
26.04.2011 Worldwide
Database 5.7.23; 92p